

Cartografía de minerales de alteración hidrotermal en el área de Cabo de Gata, Almería, mediante imágenes ASTER.

Juan P. Rigol-Sánchez⁽¹⁾ y Mario Chica-Olmo⁽²⁾

⁽¹⁾Grupo Investigación RSGIS / CEAMA, Dpto. Geología. Universidad de Jaén. Jaén. Campus Universitario Las Lagunillas, B-3. 23071 Jaén. JPRigol@ujaen.es.

⁽²⁾Grupo Investigación RSGIS / CEAMA, Dpto. Geodinámica. Universidad de Granada. Avda. Fuentenueva s/n. 18071 Granada. mchica@ugr.es.

Resumen

Las bandas del sensor ASTER ofrecen información sobre las características de absorción de distintos minerales de interés. Se ha utilizado la técnica del ACP orientado a la extracción de materiales sobre subconjuntos de bandas ASTER para identificar minerales hidrotermales en el área volcánica de Cabo de Gata. Este estudio ha permitido cartografiar dos nuevos núcleos de alteración.

1. Introducción

El sensor ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer), a bordo del satélite Terra lanzado en diciembre de 1999, ha mejorado sensiblemente la oferta de datos de teledetección espacial para aplicaciones en ciencias de la Tierra, hasta la fecha esencialmente basadas en imágenes Landsat TM/ETM+. El sensor ASTER dispone de tres bandas espectrales en la región del visible y el infrarrojo próximo (VIRP; 0.5-1.0 μm) con una resolución espacial de 15m, seis bandas en el infrarrojo medio (IRM; 1.0-2.5 μm) con resolución de 30m y cuatro bandas en el infrarrojo térmico (IRT; 8.0-12.0 μm) con resolución de 90m [1]. El sensor incorpora una banda adicional en el IRP con resolución de 15m adquirida con un ángulo diferente para estereoscopia [1]. La disponibilidad de este amplio rango de longitudes de onda, combinada con la capacidad para generar imágenes estereoscópicas, convierte al sensor en una herramienta de gran potencial para la identificación y cartografía de materiales (rocas, suelos, minerales, etc.), estructuras geológicas y formas del relieve (geomorfológica) [2].

Las bandas espectrales del sensor ASTER en la región del IRM presentan especial interés para la cartografía litológica y de especies minerales [2], [3]. Así, por ejemplo, numerosos minerales de los grupos de los carbonatos y las arcillas presentan rasgos espectrales característicos entre 2.0 μm y 2.5 μm . La Fig. 1 muestra la posición de las bandas espectrales del sensor en las regiones del VIRP e

IRM, donde se observa que las bandas 5 a 9 están centradas en las características de absorción de minerales de la arcilla, hidróxidos y carbonatos [2], [3], [4].

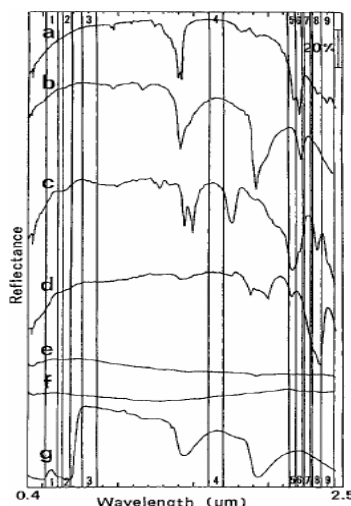


Figura 1: Bandas espectrales en el VIRP e IRM del sensor ASTER y firmas espectrales de algunos minerales, rocas y vegetación: (a) caolinita, (b) montmorillonita, (c) alunita, (d) calcita, (e) andesita, (f) granito y (g) vegetación [4].

Existen numerosas técnicas desarrolladas para la discriminación y cartografía de afloramientos de rocas y especies minerales utilizando imágenes multispectrales, tales como clasificaciones multibanda, cocientes de bandas, índices espectrales, análisis de componentes principales (ACP), etc. El ACP es una transformación que permite mejorar la dispersión de un conjunto de datos multispectrales redistribuyéndolos alrededor de otro conjunto de ejes ortogonales en un espacio

multidimensional que maximiza la varianza de los datos. El ACP se usa frecuentemente en teledetección para reducir la dimensionalidad de los datos multispectrales sin una pérdida importante de información. Las composiciones de color utilizando los componentes principales fundamentales pueden facilitar así la identificación y cartografía de los materiales de la superficie mediante interpretación visual. Sin embargo, al depender los resultados del ACP de cada escena en particular, el significado físico de los colores en una imagen de CP en muchas ocasiones no está claro [5]. Para dotar de contenido físico a ciertas combinaciones de CP se diseñaron dos técnicas ligeramente diferentes: los índices espectrales [5], [6] y el ACP orientado a la identificación de materiales [7]. Ambas técnicas están siendo utilizadas con imágenes ASTER, por ejemplo, [4] y [8], respectivamente.

En este trabajo presentamos la aplicación del ACP orientado a la identificación de rocas y especies minerales utilizando imágenes de reflectividad [9] de las bandas en el VIRP e IRM del sensor ASTER de la zona volcánica de Cabo de Gata, Almería.



Figura 2: Área de estudio de Cabo de Gata, Almería, y afloramientos de rocas volcánicas.

2. Área de estudio

El área de estudio corresponde a la zona volcánica de Cabo de Gata, situada en el extremo SE de la Península Ibérica, dentro de la provincia de Almería, España (Fig. 1). El vulcanismo corresponde a la serie calco alcalina s.s. [10], caracterizado por presentar una variedad litológica desde andesitas basálticas a riolitas, pertenecientes a

una serie calco alcalina de contenido medio en potasio, con predominio de los términos intermedios (andesitas y dacitas). Asociados al vulcanismo se desarrollaron durante el Mioceno una serie de sistemas hidrotermales, que produjeron alteraciones de rango menor, sin interés económico, así como grandes áreas de alteraciones y mineralizaciones, correspondientes a sistemas de circulación hidrotermal (epitermal) acompañados comúnmente con disposiciones zonales del tipo de alteración [11], [12], [13], [14]. En la zona también afloran distintos materiales sedimentarios.

3. Métodos

Cuando las bandas de una imagen multispectral son tratadas como variables y transformadas a componentes principales, el orden de los componentes principales está influenciado por la abundancia espacial de los materiales en superficie y por los estadísticos de la imagen [15]. Se puede utilizar la influencia de los estadísticos de la escena, los cuales pueden ser medidos y modificados a voluntad, para forzar a la transformación a que proporcione información de la distribución espacial y abundancia relativa de un material aflorante concreto; es decir, utilizar el ACP como una técnica de selección espacial de materiales en las imágenes. Esta idea fue perfeccionada por [16], quien seleccionó subconjuntos de bandas multispectrales específicos de manera que ciertos materiales serían excluidos y otros (de interés) aparecerían cartografiados o discriminados, todo sobre la base de sus firmas espectrales. Esta técnica se basa en la capacidad de la transformación de componentes principales de detectar cada vez variaciones más pequeñas en la varianza de los datos en sucesivos componentes principales, de forma que los vectores propios son examinados para decidir qué componentes principales concentran la información directamente relacionada con la firma espectral teórica de objetos o materiales específicos [7], [15]. En la práctica, este método permite predecir si el objeto de interés vendrá representado por píxeles oscuros o brillantes en la imagen del componente principal relevante.

El método se aplicó a las 9 bandas del sensor ASTER en el VIRP e IRM, tras remuestrear a 30m las primeras. Se eligieron cuatro subconjuntos de bandas indicativas de otras tantas especies minerales [2], [3], [4], [8] para aplicar el ACP: (1) Bandas 1,3,5,7 – Alunita; (2) Bandas 1,4,6,7 – Caolinita; (3) Bandas 1,3,5,6 – Illita; (4) Bandas 1,4,6,9 – Caolinita+Esmectita.

4. Resultados

La Tabla 1 muestra los valores propios de la transformación ACP aplicada sobre dos de los subconjuntos de las bandas reflectivas ASTER de Cabo de Gata, en este caso correspondientes a los minerales hidrotermales caolinita y caolinita más esmectita. El CP1, correspondiente al albedo, no se muestra por claridad. La caolinita presenta valores altos de reflectividad en las bandas 4 y 7 y picos de absorción en las bandas 1 y 6 (Fig. 1). Así, la Tabla 1 indica que el CP4 presenta coeficientes elevados y de signo contrario en las bandas 6 (negativo) y 7 (positivo), por lo que la imagen en gris del CP4 mostrará en tonos claros los píxeles que probablemente presentan un alto contenido en caolinita. Para la caolinita más esmectita, la imagen del CP4 mostrará por el contrario en tonos oscuros los píxeles con alto contenido en caolinita + esmectita, ya que presenta valores altos en las bandas 4 y 9 y picos de absorción en las bandas 1 y 6.

Tabla 1: *Vectores propios para distintos subconjuntos de bandas en el VIRP e IRM.*

Caolinita	CP2	CP3	CP4
B1	.89	-.02	.02
B4	-.32	-.73	.05
B6	-.20	.42	-.74
B7	-.23	.53	.66
Caolinita + Esmectita			
B1	.90	.01	-.03
B4	-.29	-.59	-.48
B6	-.18	-.14	.85
B9	-.25	.79	-.19

La Fig. 3 muestra una composición de color indicando la abundancia relativa de caolinita (rojo), illita (verde) y caolinita+esmectica (azul) en la zona de estudio. En la imagen se identifican claramente las distintas áreas de alteración y se manifiestan dos nuevos núcleos potenciales de alteración hidrotermal que no habían sido previamente detectados en estudios con imágenes Landsat TM (Fig. 4). Estos núcleos se localizan en ambos casos entre otros previamente detectados con TM en la zona de Rodalquilar (zona centro) y en la Sierra de Cabo de Gata (zona sur), respectivamente [17].



Figura 3: *Imagen RGB de las CP4 correspondientes a abundancia relativa de caolinita (R), illita (G) y caolinita+esmectita (B). Las flechas indican nuevos núcleos de alteración no detectados con datos TM.*

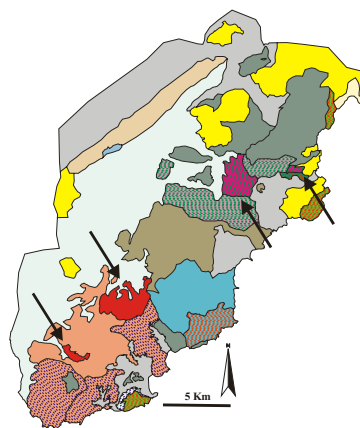


Figura 4: *Núcleos de alteración detectados con TM [17]. Las flechas indican la posición de los cuatro núcleos de alteración principales.*

5. Conclusiones

El ACP orientado a la selección de materiales aplicado a imágenes ASTER permite identificar y cartografiar la abundancia de especies minerales de tipo hidrotermal, típicamente asociados a

yacimientos minerales de interés económico. En el estudio realizado en el área volcánica de Cabo de Gata utilizando datos de reflectividad se han identificado, además de los núcleos de alteración previamente detectados con TM, dos nuevos núcleos que no habían podido ser cartografiados con TM. La información así derivada de los datos ASTER mejora sustancialmente la obtenida con sus predecesores (Landsat TM).

6. Referencias

- [1] Yamaguchi, Y., Kahle, A., Tsu, H., Kawakami, T. and M. Pniel, "Overview of Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER)", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 36(5), 1062-1071, 1998.
- [2] Abrams, M. and S. J. Hook, "Simulated ASTER data for geologic studies", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 33(3), 692-699, 1995.
- [3] Rowan L. C. and J. C. Mars, "Lithologic mapping in the Mountain Pass, California area using Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) data", Remote Sensing of Environment, 84, 350-366, 2003.
- [4] Yamaguchi, Y. and C. Naito, "Spectral indices for lithologic discrimination and mapping using ASTER SWIR bands", International Journal of Remote Sensing, 24(22), 4311-4323, 2003.
- [5] Kauth, R. J. and G. S. Thomas, "The tasseled cap – a graphic description of the spectral-temporal development of agricultural crops as seen by Landsat". Proceedings of the Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data, Purdue University, 29 June–1 July 1976, West Lafayette, Indiana (West Lafayette, Indiana: Laboratory for Applications of Remote Sensing), pp. 41–51, 1976.
- [6] Jackson, R. D., "Spectral indices in n-space". Remote Sensing of Environment, 13, 409–421, 1983.
- [7] Crosta, A. P., and J. McM. Moore, "Enhancement of Landsat Thematic Mapper imagery for residual soil mapping in SW Minas Gerais state, Brazil: A prospecting case story in Greenstone Belt terrain". Proceedings Seventh Thematic Conference on Remote Sensing for Exploration Geology. Calgary, Alberta, Canada, pp. 1173-1187, 1989a.
- [8] Crosta, A. P., De Souza Filho, C. R., Azevedo, F. and C. Brodie, "Targeting key alteration minerals in epithermal deposits in Patagonia, Argentina, using ASTER imagery and principal component analysis", International Journal of Remote Sensing, 24(21), 4233-4340, 2003.
- [9] Abrams, M., "The Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER): data products for the high spatial resolution imager on NASA's Terra platform", International Journal of Remote Sensing, 21(5), 847-859, 2000.
- [10] López Ruiz, J. y E. Rodríguez Badiola, "La región volcánica neógena del SE de España". Estudios Geológicos, 36, 5-63, 1980.
- [11] Fernández Soler, J. M., *El volcanismo calcoalcalino del Parque Natural Cabo de Gata-Níjar (Almería): Estudio volcanológico y petrológico*, Sociedad Almeriense de Historia Natural, Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, 1996.
- [12] Arribas, A. Jr., Rytuba, J. J., Rye, R. O., Cunningham, C. G., Podwysocki, M. H., Kelly, W. C., Arribas, A., Mckee, E. H. and J. G. Smith, *Preliminary study of the ore deposits and hydrothermal alteration in the Rodalquilar caldera complex, southeastern Spain*, U.S. Geol. Survey Open File Report 89 327, 39 p., 1989.
- [13] Arribas Rosado, A., *Los yacimientos de oro del Sureste Peninsular*. En: García Guinea, J., Martínez Frías, J., (Coords.), Recursos Minerales de España. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid, España, pp. 875-890, 1992.
- [14] Sängner-von Oepen, P., Friedrich, G. and J. H. Vogt, "Fluid evolution, wallrock alteration, and ore mineralization associated with the Rodalquilar epithermal gold-deposit in southeast Spain". Mineralium Deposita, 24, 235-243, 1989.
- [15] Chavez, P. S. Jr. and A. Kwarteng, "Extracting spectral contrast in Landsat Thematic Mapper image data using selective principal component analysis". Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 55(3), 339-348, 1989.
- [16] Loughlin, W. P., "Principal Component Analysis for Alteration Mapping". Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 57(9), 1163-1169, 1991.
- [17] Chica Olmo, M., Rigol Sánchez, J. P. y F. Abarca Hernández, "Aplicación de la Teledetección a la Caracterización Geológica del Área de Cabo de Gata, Almería". VI Congreso Nacional y Conferencia Internacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio, Vol. 2, pp. 37-54, 1996.